

**Организация информационных процессов в природе и обществе.
Проблемы и пути их решения.
В.И.Гордиенко.**

Отыщи всему начало
и ты многое поймешь.
Козьма Прутков.

Нелинейная динамика (в английской терминологии – нелинейная наука), которую философы иногда относят к постнеклассической, основана, по сути, на результатах компьютерного моделирования и теоретического анализа необычных явлений в физике, химии, биологии, социальной сфере [1,2]. Сюда, в первую очередь, относится познавательное моделирование. Появление в последнем десятилетии прошлого века огромного количества важнейших научных результатов обязано применению компьютеров, функционирующих в рамках концепции цифровых программных вычислений (КЦПВ). До недавнего времени казалось, что этот подход не имеет границ своим возможностям. Однако к концу XX века эйфория по поводу безграничных возможностей современных компьютеров, на основе КЦПВ, сменилась пониманием ограниченности возможностей задавать природе принципиальные вопросы и получать на них ответы. В одной из своих бесед академик Н.Н.Моисеев охарактеризовал это примерно так: “...Когда нам стало ясно, что прямая имитация многих процессов попросту невозможна, то возникла потребность в новых понятиях и концепциях” [1]. Случилось то, что и должно было случиться в развивающемся мире: орудия познания (равно как и производства) по своим возможностям и эффективности перестали в должной мере удовлетворять возрастающим потребностям развивающегося информационного общества. Назрела острая необходимость поиска новых путей развития орудий познания и методов их применения.

Одной из самых трудных задач для специалистов по математическому моделированию на основе КЦПВ является поиск причинно-следственных связей. Причем проблема многократно усложняется, если мы имеем дело с редкими, но исключительно важными событиями. Тут мы, с одной стороны, не знаем законов, определяющих ход исследуемых процессов, а с другой стороны, не удастся опереться на статистические методы анализа. Этот класс задач относится к задачам с плохо определенными исходными или “размытыми” данными. Вот как эту ситуацию охарактеризовал основоположник теории нечетких множеств Л.Заде: “...излишнее стремление к точности... приводит к тому, что исследования сосредотачиваются на тех и только на тех проблемах, которые подчиняются точному решению. В результате многие классы важных проблем, в которых данные, цели и ограничения являются слишком сложными или плохо определенными, чтобы допустить точный математический анализ, оставались и остаются в стороне по той причине, что они не поддаются математической трактовке. Для того, чтобы сказать что-либо существенное для проблем подобного рода, мы должны отказаться от наших требований точности и допустить результаты, которые являются несколько размытыми или неопределенными” [3]. Но эти результаты, по нашему мнению, должны позволять получать достаточно эффективные решения и обеспечивать продвижение системы по пути к намеченной цели.

В повседневной деятельности людей таких нестандартных задач оказывается существенно больше, чем задач стандартных, имеющих строгие решения. В связи с этим математике и математическому моделированию конца XX века пришлось столкнуться с весьма непростыми ситуациями. Во многих случаях им пришлось перестать быть “образцом строгости”. В этой ситуации наряду с аналитиками, которые

делают “то, что можно и так, как нужно“ появился большой отряд специалистов по прикладной математике, которым приходится делать “то, что нужно и так, как можно“. При этом первые многое теряют выдерживая рамки строгости и в то же время уподобляются анекдотическому персонажу, который ищет кошелек под фонарным столбом только лишь по той причине, что - “здесь же светло“. Вторые много приобретают за счет размывания понятия “строгость“. В дальнейшем мы покажем, что вполне допустимое отступление от строгости вознаграждается приобретением ряда существенных преимуществ в других показателях, таких как отношение производительность-стоимость, технологичность производства и использования и т.д. Здесь уместно вспомнить тринитарную методологию. В рамках этой методологии, активно развиваемой в России Р.Г.Баранцевым, рассматриваются соотношения не между **парами** категорий, а между **тройками**. Например, при анализе метода или алгоритма можно выделить точность, простоту и универсальность (область применимости). Эти требования противоречивы, и третья категория часто выступает “арбитром“ в “споре“ между первыми двумя. В своих разработках мы неоднократно будем использовать эту методологию.

Первой, указанной выше, проблеме сопутствует следующая проблема, связанная с перспективами развития компьютеров, функционирующих в рамках концепции цифровых программных вычислений. Суть второй проблемы заключается в следующем. Совершенствование компьютеров и огромного большинства электронных систем неразрывно связано с развитием технологий создания структур на микроуровне (на молекулярном и даже наноуровне). Рассматриваются возможности создания нанороботов, нанороботизации производственных и познавательных процессов, технологий самосборки вычислительных структур с самоорганизующимся поведением и т.д. В то же время в развитии компьютеров современной архитектуры наметился технологический предел, практически исключающий возможность продвижения в этом направлении уже через несколько десятилетий. Подробнее об этом будет сказано несколько позднее.

Выход из создавшегося положения многие видят в разработке компьютерных систем нового (шестого) поколения. Эти системы получили название нейрокомпьютеров или нейросистем. Они способны имитировать некоторые важные особенности работы мозга и других отделов нервной системы человека. Например, способность самообучаться и использовать результаты обучения в сложившейся ситуации. Это позволяет не писать программы, определяющие действия компьютера для всех возможных ситуаций, с которыми он может встретиться (это практически не возможно), а обучать его, предъявляя набор примеров или образцов. Здесь попутно возникает новая проблема: какими свойствами, знаниями, качествами и возможностями должен обладать “учитель“. Эта проблема также ждет своего решения.

На данном этапе можно констатировать, что успехи в развитии нейрокомпьютера в течение последних лет оказываются более чем скромными. Причин для этого вполне достаточно. Мы приступаем к анализу этих причин в надежде на то, что результаты этого анализа станут своеобразной платформой для получения новых более эффективных решений в области развития нейрокомпьютера и расширения масштабов его применения практически во всех областях жизни и деятельности человека.

В своих дальнейших исследованиях мы будем опираться на результаты, полученные как в рамках нелинейной науки [1,2, 4] так и в рамках классической науки. При этом будут широко использоваться методы взаимопроникновения различных наук, особенно, философии, биологии, физики и математики. Анализируя природные процессы в рамках категорий исторического и логического [5], мы каждый раз будем

убеждаться в наличии некоторого общего начала в развитии материальной природы, которое лежит в основе ее самоорганизации.

Анализ причин низких темпов развития нейрокомпьютинга.

1. В разработке нейросетевых вычислительных структур, очевидно в силу особой инерции мышления разработчиков, имеют место попытки приспособить математические основы КЦПВ, в рамках которой функционируют компьютеры фон Неймановской архитектуры, к нуждам нейросетевой организации вычислений. Иными словами, речь идет о попытках развития нейросетевой организации вычислений на математической основе КЦПВ, игнорируя наличие принципиальных различий в архитектуре, обучении, формировании памяти и доступа к ней и т.д. Это приводит к ряду недоразумений, поскольку нейросетевая организация вычислений больше ориентирована на концепцию аналоговых вычислений (КАВ). Вот как об этом сказано авторами работы [7], исследовавших аналоговую модель сетчатки глаза, одну из основных подсистем мозга человека, воспринимающую и обрабатывающую зрительную информацию.

В настоящее время в развитии систем обработки информации конкурируют две альтернативные концепции: концепция цифровых программных вычислений и концепция аналоговых вычислений, где сами вычисления рассматриваются как физический процесс, построенный на основе использования законов природы, и в частности, живой природы. Усиленное внимание к развитию второго направления обуславливается не только появлением новых данных, свидетельствующих о том, что в бионическом подходе к организации вычислений скрыты могучие резервы повышения эффективности систем обработки информации, но и появлением новых задач, решение которых на основе цифровых программных методов или существенно затруднено, или принципиально невозможно. Так, в работе [7] показано, что крохотная биологическая система – сетчатка глаза справляется с обработкой зрительной информации намного эффективнее, чем самые мощные суперкомпьютеры. Поведение искусственной сетчатки свидетельствует о высокой эффективности концепции аналоговых вычислений, воплощенной в нейронных сетях. Одна из причин этого достоинства заключается в том, что нейронные системы работают в соответствии с основными физическими и биологическими принципами, а не пытаются постоянно противостоять им, как это имеет место в рамках концепции цифровых вычислений.

Хотя природе ничего не известно о битах, булевой алгебре или теории линейных систем, в огромном количестве физических и биологических явлений воплощаются важные математические функции. Например, благодаря физическим законам потенциалы и токи могут складываться и вычитаться, благодаря свойствам синапсов и биологических мембран электрические процессы могут детектироваться, что предопределяет возможность реализации нелинейных операций в виде вычислений абсолютных значений результатов суммирования или вычитания и т.д. В дальнейшем будет показано, что приведенных фактов уже достаточно, чтобы природа смогла построить базисные универсальные процессоры вычисления операций, лежащих в основе алгебры множеств.

Рассматривая физическую природу процессов мы понимаем, почему самые эффективные цифровые интегральные микросхемы даже теоретически будут потреблять не менее 10^{-9} Дж. на одну операцию, в то время как нейроны затрачивают лишь 10^{-16} Дж. В цифровых системах данные и вычислительные операции должны преобразовываться к двоичному коду, а этот процесс требует около 10^4 цифровых переключений на одну операцию. Аналоговые устройства выполняют ту же операцию за один шаг, что приводит к колоссальному снижению потребляемой энергии. В дополнение к этому следует сказать, что цифровая концепция не допускает

использования непрерывно-значных логик, в то время как аналоговые системы вычислений могут быть построены, именно, на возможностях их использования.

Однако более важным оказывается то, что способность аналоговых нейронных систем действовать в непредсказуемых условиях объясняется тем, что они представляют информацию в контексте. Они реагируют на разность сигналов рецептора и контекста, а не на абсолютные их уровни. Таким образом, устраняется необходимость в точной калибровке. В качестве контекста может быть использовано предшествующее состояние нейронной схемы или какой-либо сложный комплекс поведения нейронов, включая механизмы, с помощью которых осуществляется обучение. По всей видимости, здесь самой природой заложен принцип извлечения информации на основании операции импликации, когда на основе сопоставления двух сигналов a и b , один из которых является контекстным, делается логический вывод c относительно отношений между сопоставляемыми сигналами. Иными словами, можно предположить, что природа и, прежде всего живая, обладает своей логикой при извлечении и обработке информации. В дальнейшем будет показано, что логика природы и логика в рамках канторовских точечных или числовых множеств оказываются весьма близкими.

Взаимодействие контекста и адаптации – это фундаментальный принцип не только нейронной модели, но и природы. В целом этот принцип основан на том, что лишь изменения и разности несут в себе информацию. Поэтому постоянные изменения скорее необходимость для нейронных систем, а не источник затруднений, как в цифровых системах. Это требование постоянных перемен делает нейронную систему ограниченной частью наблюдаемого ею мира, в противоположность цифровым системам, конструкция которых неявно предполагает изоляцию системы от окружающего мира.

Не менее важной проблемой в организации вычислений в рамках обеих концепций является проблема проводников. Так, в нейронных системах и их кремниевых моделях активные элементы (процессоры) занимают 1-2% пространственной упаковки. Таким образом, количество процессорных элементов в упаковке ограничивается количеством проводников, необходимых для проведения вычислений. Природа решила (частично) эту задачу методом группирования процессорных элементов в структурах мозга таким образом, чтобы минимизировать количество и длину соединительных проводников. В решении этой проблемы можно пойти еще дальше. Одна из идей решения проблемы проводников состоит в том, чтобы переложить часть процессорных функций на сами соединительные проводники, т.е. чтобы передача и обработка сигналов осуществлялась одновременно одними и теми же элементами. Такое решение приведет к резкому повышению плотности упаковки процессорных элементов в единице объема вычислительной среды со всеми вытекающими последствиями. Принципиальные и реальные возможности создания проводников-процессоров будут показаны в следующих разделах.

2. В то же время реализация преимуществ КАВ относительно КЦПВ в организации нейросетевой обработки информации тормозится из-за отсутствия в настоящий момент эффективной элементной базы наподобие той, которая в свое время вывела КЦПВ в абсолютные лидеры. Попытки использовать напрямую элементную базу, ориентированную на КЦПВ, в нейросетевых структурах обработки информации в рамках КАВ, терпят неудачу. Однако в целом эта проблема успешно решается. Авторами этой статьи уже получены и апробированы алгоритмы, алгоритмические структуры и их действующие модели, “подсказанные” самой природой [8]. Как будет показано далее, элементная база аналоговых нейросетей оказывается хорошо совместимой с перспективными технологиями производства электронной аппаратуры на микро- и наноуровне, включая и технологию самосборки.

3. Снижение темпов развития нейросетевых структур обработки информации сопряжено с рядом фактов неудовлетворительного использования знаний о естественных нейросетях и их элементах [6]. Так многие современные специалисты исходят из того, что естественные биологические нейроны можно моделировать довольно простыми искусственными автоматами, а вся сложность мозга, его гибкость в обработке различного рода информации и другие его важнейшие качества определяются связями между нейронами. Каждая связь определяется как совсем простой элемент, служащий для обмена сигналами. Предельным выражением этой точки зрения является лозунг: "Структура связей – все, свойства элементов - ничто" [6]. Такой подход, естественно, не мог положительно повлиять на развитие принципов создания элементной базы нейросетевых структур. Кроме того, предложенная много десятилетий назад классическая модель нейрона, в основе которой лежит линейная комбинация компонентов векторов сенсорных выходов и "весовых коэффициентов", полученных в результате "обучения", также остается неизменной. Она не удовлетворяет новым знаниям о естественном нейроне, как основном элементе нейросетевой структуры обработки информации. Здесь также необходимы новые подходы, речь о которых пойдет в следующих статьях.

Все ранее сказанное касается средств, инструментов познания природы. Теперь коснемся методической стороны. Здесь весьма плодотворной является идея использования категорий "исторического" и логического [5]. Историческое - это сам объективный процесс развития какого-либо предмета, объекта, явления, реальная (протекающая эмпирически в пространстве и времени) история. События выстраиваются в ряд от более раннего к более позднему вплоть до настоящего. Например, развитие природы, науки, техники, человеческого общества. Все это реально совершающееся или совершившиеся процессы.

Логическое – это теоретическое отображение исторического... путем анализа его результата, раскрытия того, как ход истории отложился, запечатлился в закономерном соотношении сторон, признаков развитого предмета. Иными словами, логическое есть мыслительное (формализованное) воспроизведение исторического через анализ взаимосвязи и взаимодействия сторон предмета в его развитом состоянии. Логическое связано с получением знаний о природе в процессе ее развития. Логическое и историческое находится в единстве. Ход абстрактного мышления, восходящего от простейшего к сложному, соответствует действительному историческому процессу. Однако логическое обладает некоторой самостоятельностью по отношению к историческому. Она выражается в том, что логическое начинается с "конца", с результата, исследуя прошлую историю с точки зрения (с позиции) ее высшего (настоящего) этапа. Логическое рассмотрение, как правило, идет путем, обратным реальному историческому процессу, поскольку начинает с развитой формы, чтобы через нее понять путь ее становления. Категория логического позволяет подойти к истокам возникновения или образования процесса, объекта природы.

Нелинейная наука (нелинейная динамика) идет еще дальше. Она рассматривает научное знание не только и даже не сколько в его готовой завершенной форме последнего этапа развития, но также и в процессе его становления, т.е. как знание, выступающее в виде средства и метода получения **нового знания**. Нелинейная наука позволяет раскрыть механизм перехода от существующего, достигнутого к настоящему моменту уровня знаний, к **возникающему еще более новому знанию [4]**. Процесс роста знаний, таким образом, оказывается непрерывным и ускоренным. Здесь включен механизм действия положительной обратной связи.

В дальнейших своих рассуждениях мы будем исходить из одного фундаментального вывода нелинейной динамики, касающегося всеобщности принципа необратимости в природе, принципа, который лежит в основе самоорганизации путем

установления порядка из хаоса [1, 2, 4]. Само существование этого обобщенного принципа наводит на мысль о том, что должны существовать некоторые общие формализмы (математические подходы), которые позволят описывать и понимать на уровне сознания более тонкие механизмы действия необратимости, ее истоки и возможные направления использования для нужд развивающегося общества и восполнения запасов знаний, касающихся любого уровня развития природы, включая и уровень возникающего знания.

В то же время конструктивная роль необратимости в процессах самоорганизации не может быть понята без уяснения физического и математического смысла понятий неравновесности и нелинейности в природе.

Роль неравновесности и нелинейности в формировании необратимости. Проблемы формализации. Нелинейная динамика оперирует такими понятиями как случайность, неустойчивость, неравновесность, нелинейность и необратимость. При этом считается, что, именно необратимость может быть источником порядка, когерентности, организации [1, 2, 4]. В то же время проблема необратимости остается пока нерешенной. По всей видимости, необратимость как источник самоорганизации, формируется всеми выше перечисленными категориями, и прежде всего, такими явлениями как неравновесность и нелинейность. В свою очередь, неравновесность как явление носит хаотический характер и порождается случайно возникающими силовыми полями. Покажем, что основным упорядочивающим началом в формировании необратимости в хаотически меняющейся неравновесной среде является нелинейность.

Природа изобилует нелинейными процессами, порождаемыми различного рода потенциальными барьерами, возникающими на контактах и границах разделов сред типа проводник-полупроводник, на физических и биологических мембранах, на системах капилляров и сосудов с управляемыми клапанами и т.д. Простейшей нелинейной операцией упорядочения является операция выпрямления. По сути это операция отбора энергии, вещества и информации. В технике эта операция представлена операцией детектирования.

Легко видеть, что без простейших нелинейных операций типа выпрямления принципиально невозможны операции отбора, запоминания, накопления, управления, передачи и приема информации и т.д.

Аналитически операция выпрямления (детектирования) может быть представлена неэлементарной зависимостью вида:

$$I = k |U|^p, \quad (1)$$

где I - ток через нелинейный элемент;

U – разность потенциалов на электродах нелинейного элемента;

p – показатель степени в виде целого числа, указывающего порядок функционального пространства;

k - некоторый постоянный коэффициент передачи.

Вертикальными линиями обозначена собственно операция выпрямления или вычисления абсолютной величины.

Выражение (1) является базовым при описании информационных процессов в самоорганизующихся средах.

Информационные процессы предполагают применение операций сопоставительного характера, в которых одна из величин, например, x является опорной (эталонной), а вторая – исследуемой, например y . Тогда в общем виде выражение (1) может быть представлено как:

$$Z = k |x \pm y|^p . \quad (2)$$

Не менее важной и широко распространенной операцией, осуществляемой компонентами природы, является операция сложения. Наличие этой операции отражает действия законов сохранения в природе. В силовых и потенциальных полях складываются потенциалы, токи, силы различного происхождения. Таким образом, операции сложения и выпрямления являются фундаментальными операциями в природе. Они действуют в единстве и в строгой последовательности. Это отражено в алгоритме (2), который успешно реализуется в функциональном пространстве первого порядка ($p=1$). В силу сказанного сопоставляемые компоненты x и y могут быть представлены скалярными или векторными величинами, имеющими конкретный физический или формальный смысл.

Алгоритм (2) и соответствующая ему алгоритмическая структура (рис.1) являются тем “кирпичиком“, на основе которого может быть построено здание нового подхода к организации вычислений в системах обработки информации нового (шестого) поколения.

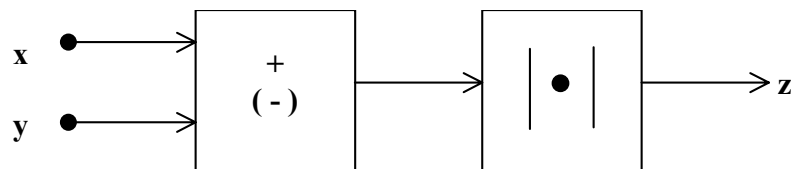


Рис.1. Алгоритмическая структура элемента базового процессора функциональной (ситуативной) логики.

Включение исследователя (наблюдателя) в исследуемый (наблюдаемый) процесс [2] требует совершенствования методов обработки наблюдаемых данных. Этот факт учитывается нами введением понятия ситуативной логики, как логики действий целеустремленной системы в плохо предсказуемом окружении. При этом сам информационный процесс мы рассматриваем, прежде всего, как взаимное информирование взаимодействующих целеустремленных компонентов природы, цель которого – вычисление посылок для осуществления логических выводов и логических управлений при взаимодействии открытой целеустремленной системы с окружающей средой в процессе самоорганизации.

О сути и необходимости введения понятия ситуативной логики прекрасно сказано в работах [2, 4]. “...Мы достигли ситуации, близкой к той, которая была давно, осознана в социологии – не упускать из виду то, что называется “истинной в данной ситуации”. И далее “... До тех пор пока мой идеал – абсолютный наблюдатель, знание, безотносительное к какой бы то ни было точке зрения, моя ситуация является лишь источником ошибок. Но стоит лишь мне осознать, что через нее я связан со всеми действиями и всем знанием, имеющими смысл для меня, и что она постепенно наполняется всем могущим иметь смысл для меня и мой контакт с социальным в ограниченности моего бытия открывается как исходный пункт всякой, в том числе и научной истины... все, что я могу сделать – это определить истину в рамках данной ситуации”.

В дальнейшем будет показано, что ситуативная логика содержит в себе в виде частного случая и формальную логику.

В конечном счете, математика предстоящего периода развития науки должна строиться с учетом того, что человек – исследователь перешел с позиций внешнего наблюдателя природы на позицию исследователя, находящегося внутри самого процесса исследования. Исследователь, вооруженный новыми математическими

приемами и средствами обработки информации будет способен в новых условиях делать то, что нужно и так, как нужно!

В заключение подчеркнем, что **уникальность** алгоритмической структуры (рис.1) заключена в ее функциональной универсальности. Ее аппаратная реализация на любом уровне развития природы и техники позволяет ей одновременно выступать в следующих ролях [9]:

- основного элемента базового процессора логических выводов в рамках ситуативной логики;

- основного элемента базового процессора управления электрическими колебаниями, без которого немислим информационный обмен в процессе самоорганизации;

- основного элемента базового процессора в задачах моделирования функций подсистем сетевых (нейронных) структур обработки информации, в том числе и в живых организмах;

- основного элемента базового процессора – основы построения однородных по составу вычислительных структур методами самосборки и т.д.

Подробные сведения об этом будут корректно представлены в материалах следующих статей.

Литература

1. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. 2-е изд. – М.: Эдиториал УРСС, 2001.-288 с.
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. Пер. с англ. – М.: Эдиториал УРСС. 2000.-312 с.
3. Коган И.М. Прикладная теория информации. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.
4. Пригожин И.Р. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985.
5. Краткий словарь по философии/ Под общ. Ред. И.В.Блауберга, И.К.Пантина. – 4-е изд.-М.: Политиздат, 1982. – 431 с.
6. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.
7. Миша А. Маховальд, Карвер Мид. Кремниевая сетчатка. // В мире науки. 1991.- №7. – с.32-39.
8. Гордиенко В.И., Дубровский С.Е., Рюмшин Р.И., Фенев Д.В. Универсальный многофункциональный элемент систем обработки информации//Радиоэлектроника. – 1998.-№3-с.12-20 (Изв. Высших учебных заведений).
9. Гордиенко В.И. Организация информационных процессов в самоорганизующихся средах (Микросетевые вычислительные структуры). Сборник докладов III Международной конференции. Кибернетика и технологии XXI века” – Воронеж, 2002, с. 446-456.